

## РЕЦЕНЗІЯ

на науково-дослідну роботу МАН на тему

“Дослідження замкнених динамічних систем на основі явища Капіці”

учня 10-го класу Харківського навчально-виховного комплексу № 45

“Академічна гімназія” Харківської міської ради Харківської області, вихованця гуртка “Наукові дослідження у фізиці” Комунального закладу “Харківська обласна Мала академія наук Харківської обласної ради”

Гамова Олексія Андрійовича

Робота, яка рецензується, присвячена теоретичному дослідженню динамічних систем, моделями яких є осцилятори зі стабілізацією Капіці. Ідеться не тільки про суто механічні ефекти, але й про низку різноманітних фізичних явищ у системах із періодичним зовнішнім збуренням, зокрема про захоплення мікрочастинок швидко осцилюючим електромагнітним полем, пастки Пауля для заряджених частинок, хвилеводи з динамічним придушенням дифракції, динамічні явища в багаточастинкових спінових системах і системах поляритонів, Джозефсонівські контакти тощо. З огляду на це, актуальність теми роботи не викликає жодних сумнівів.

Динамічна стабілізація осциляторів, які являють собою відкриті системи, що піддаються зовнішньому збуренню, вивчена на теперішній час доволі ретельно. Як відомо, стабілізацію перевернутого маятника П.Л. Капіца демонстрував із використанням швейної машини, а В.І. Арнольд за допомогою вібраційної електробритви. Натомість автором роботи запропоновано дослідити замкнені динамічні системи з можливістю стабілізації Капіці. Таким системам можуть бути притаманні нові динамічні стабільні режими, нелінійні явища, явище биття енергії між підсистемами тощо. У роботі, яка рецензується, запропоновано оригінальну ідею використати пружину як джерело енергії для вертикальних коливань точки підвісу математичного маятника. У такому випадку систему, яка складається з математичного та пружинного маятників (автор називає таку систему «подвійний осцилятор Капіці»), можна розглядати як замкнену. У роботі отримано функцію Лагранжа та рівняння руху такого подвійного осцилятора Капіці. У загальному випадку одержання аналітичних розв'язків сформульованих диференціальних рівнянь є неабиякою складною математичною задачею, тому вказані рівняння інтегрували чисельними методами з використанням пакету Mathematica. У такий спосіб було знайдено нетривіальні проміжні режими динамічної системи, що виникають, коли енергія пружинного маятника є порівняною з енергією математичного, зокрема нелінійний режим “биття” енергії між двома підсистемами подвійного маятниками, а також низку нових положень рівноваги, які відрізняються від нижньої та верхньої точки й не спостерігаються в аналогічній відкритій системі. Автор вказує на недостатність статичного ефективного потенціалу для опису замкненої динамічної системи й натомість пропонує застосувати динамічний ефективний потенціал для пояснення одержаних результатів, а також описує механічну поведінку систему в аспекті параметричного резонансу у випадку співставимих частот коливань математичного й пружинного маятників.

Робота не має експериментального підтвердження встановлених закономірностей механічного руху замкнених динамічних систем, але містить його візуалізацію й пропонує конкретні числові характеристики осцилюючої системи, які роблять її придатною для експериментального дослідження. У роботі є дискусійні припущення. Наприклад, при спробі якісного пояснення (п. 1.4) одержаного механічного зв'язку  $\delta\theta = \delta x \sin(\theta)/L$  припустили, що «коли кінець пружинного маятника зробить малий крок на величину  $\delta x$ , то математичний маятник просто не зможе відреагувати і його вантаж буде знаходитися у приблизно такому ж стані, у якому він і був» (рис. 18). У зв'язку з цим виникає запитання щодо змінення довжини математичного маятника  $L$ . Якщо стрижень пружно деформується, то його довжина (за умови, що вантаж  $M$  залишається у тому ж самому положенні) змінюється відповідно до рис. 18 на величину  $\delta L = \delta x \cos(\pi - \theta)$ , з якою пов'язана енергія пружної деформації стрижня та яку запропонована модель не бере до уваги. Якщо ж стрижень вважається абсолютно жорстким, то для забезпечення незмінності його довжини  $L$  вантаж  $M$  має обов'язково зсунутись зі свого вихідного положення, чого не відображено на рис. 18. Далі, в розділі 3, де обговорюється можливість експериментальної перевірки розвиненої автором теорії, пропонується врахувати дисипацію енергії в системі, яка виникає внаслідок дії сили тертя. При цьому автор *a priori* вважає, що домінуючим у системі є в'язке тертя, сила якого в лінійному наближенні є пропорційною до швидкості вантажу  $m$ . Але ж домінуючим у системі може бути й сухе тертя, для якого модуль сили є практично незмінною величиною. Сухе тертя зазвичай виникає, коли вантаж пружинного маятника ковзає по шорсткій поверхні стрижня, який спрямовує його рух. Із сухим тертям пов'язане відоме явище застою. Отже, для експериментальної перевірки потрібно подбати про спеціальні умови, за яких домінуючим буде саме в'язке тертя, або розвинути теорію для домінантного сухого тертя. Нарешті, виникає запитання, а чи не слід врахувати масу самої пружини? Як відомо, якщо маса пружини є малою в порівнянні з масою вантажу  $m$  пружинного маятника, то у виразах для кінетичної енергії та частоти власних коливань до маси вантажу  $m$  слід додати  $1/3$  маси пружини. Вказані зауваження, однак, аж ніяк не знижують гідного враження від роботи.

Робота, що рецензується, виконана на високому науковому рівні, містить нові наукові результати, достовірність яких забезпечена використанням надійних методів теоретичних досліджень, та необхідні посилання на джерела інформації. Вважаю, що за своєю актуальністю, обсягом проведених теоретичних досліджень, одержаними результатами робота Гамова О.А. заслуговує на саму високу оцінку.

Кандидат фіз.-мат. наук, доцент,  
доцент кафедри експериментальної фізики  
фізичного факультету Харківського національного  
університету імені В. Н. Каразіна

О.В. Шеховцов